



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JOHANNES RAUKOLA
BETONIELEMENTTIEN ESIKÄSITTELYN VAIKUTUS PINTAMATE-
RIAALIEN TARTUNTAAN

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Jukka Haavisto

TIIVISTELMÄ

Johannes Raukola: Betonielementtien esikäsittelyn vaikutus pintamateriaalien tartuntaan (The effect of concrete surface finish on the adhesion of surface materials)

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 29 sivua, 7 liitesivua

Toukokuu 2018

Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Talonrakentaminen

Tarkastaja: Jukka Haavisto

Avainsanat: adheesio, koheesio, tartuntalujuus, tartuntavetokoe

Betonipintojen esikäsittely on aikaa vievä työvaihe betonielementtien valmistamisessa. Erilaisilla betonin esikäsittelypinnoilla katsotaan olevan erilaiset ominaisuudet pintamateriaalien tartunnan kannalta. Näyttöä betonipintojen tartuntaominaisuuksista on olemassa kuitenkin suhteellisen vähän ja käytetyt menetelmät perustuvat lähinnä kokemusperäiseen tietoon ja alalla vallitseviin oletuksiin erilaisten betonipintojen ja pintamateriaalien yhteensopivuudesta.

Tutkimuksen taustalla on ollut tutkimuksen tilaajaan, VaBe Oy:n halu selvittää, mitkä esikäsittelypinnat ovat sopivia erilaisten pintamateriaalien tartuntaan ja minkälaisia eroja erilaisten tuotanto-olosuhteiden välillä syntyy. Aikaisemmin aiheetta on tarkasteltu Vahanen Oy:n tekemässä tutkimuksessa vuonna 2010, jonka tulokset innoittivat osittain tämän tutkimuksen tekemiseen. Vahasen tutkimuksen perusteella ei voitu suoraan vetää johtopäätöksiä muissa elementtitehtaissa valmistettujen betonipintojen tartuntaominaisuuksien suhteen, joten asiaa täytyi tarkastella uudestaan VaBe:n tapauksessa.

Tutkimuksessa selvitettiin betonisten koekappaleiden avulla, täyttävätkö eri esikäsittely- ja pintamateriaaliyhdistelmät niille asetetut tartuntavetolujuuden ohjearvot. Koekappaleille tehtiin erilaisia betonipinnan esikäsittelyjä, jonka jälkeen ne pinnoitettiin valituilla pintamateriaaleilla. Koekappaleille tehtiin pinnoittamisen jälkeen tartuntavetokokeet, joilla saatiin selville pintamateriaalin ja betonipinnan välinen tartuntalujuus, jota sitten vertailtiin annettuihin ohjearvoihin.

Tutkimuksen tulosten perusteella saatiin selville, että suurimmassa osaa tapauksia betonipinnan esikäsittelyllä ei ollut merkittävää vaikutusta pintamateriaalin tarttuvuuden kannalta. Kuitenkin tutkimusten pohjalta löydettiin sellaisiakin tapauksia, joissa esikäsittelyllä oli havaittavissa vaikutusta pintamateriaalien tartuntaan. Tutkimuksen pohjalta saatiin hyödyllistä tietoa, jota voidaan hyödyntää VaBe:n elementtituotannossa.

ALKUSANAT

Tämän kandidaatintyön aiheen on ideoinut ja tutkimuksen on tilannut VaBe Oy. Tutkimuksen taustalla on ollut VaBe:n halu kehittää omaa betonielementtien valmistustaan siten, että elementtien pintojen esikäsittelyyn kuluvia resursseja saataisiin minimoitua elementtien valmistusprosessissa.

Haluan erityisesti kiittää ohjaajaani Jukka Haavisto kiinnostuksesta kandidaatintyön aiheetta kohtaan, sekä hänen antamastaan tuesta ja palautteesta työhön liittyen. Lisäksi haluan kiittää Tomi Stranderia hänen antamastaan vertaistuesta ja avusta koesuoritusten aikana, sekä myös kurssitovereitani, jotka ovat olleet tukenani koko tutkimusprojektin ajan.

Helsingissä, 28.5.2018

Johannes Raukola

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	TEORIA	2
2.1	Adheesio	2
2.2	Standardi	3
3.	TUTKIMUSMENETELMÄT	4
3.1	Koekappaleet	4
3.2	Esikäsittelymenetelmät	4
3.3	Pintamateriaalit	6
3.4	Koejärjestelyt ja työn kulku	7
4.	TUTKIMUKSEN TULOKSET	10
4.1	Kosteusolosuhteet	10
4.2	Vetolujuudet	11
4.3	Murtotavat	13
5.	TULOKSIEN TARKASTELU	16
5.1	4-hallin tulokset	16
5.2	1-hallin tulokset	17
5.3	2-halli tulokset	18
5.4	Hallien väliset erot	19
5.5	Tulosten vertailu	22
5.6	Virhearvio	23
6.	YHTEENVETO	24
	LÄHTEET	25
	LIITE A: ESIKÄSITTELYPINNAT	26
	4-hallin esikäsittelypinnat	26
	1-hallin esikäsittelypinnat	27
	2-hallin esikäsittelypinnat	28
	LIITE B: MITTAUSPÖYTÄKIRJA	30

1. JOHDANTO

Pinnoitettujen betonipintojen tartuntalujuuden suuruus kuvaa pintamateriaalin tartuntaa alusbetoniin. Erilaisilla betonipinnan esikäsittelymenetelmillä pyritään saamaan pinta halutun näköiseksi sekä myös parantamaan pintamateriaalien tartuntaa. Vuonna 2010 Betoniteollisuus Ry teetti Vahanen Oy:llä tutkimuksen ”Betonisen seinäelementin pinnan esikäsittelyn vaikutus pintakäsittelyjen tartuntaan”. Kyseisen tutkimuksen taustalla olivat jo tuolloin alalla vallitsevat vaihtelevat käsitykset riittävästä esikäsittelytavasta kullekin pintamateriaalille. Tutkimustuloksissa todettiin tuolloin melkein kaikkien testattujen esikäsittely- ja pintamateriaalikombinaatioiden tartuntalujuuden olevan riittävä. Tutkimustuloksista ei voitu kuitenkaan vetää yleispäteviä johtopäätöksiä esikäsittelypintojen soveltuvuudesta tartunta-alustaksi.

Vahasen tutkimuksen tulokset ja myös alalla edelleen vallitsevat eriävät mielipiteet antavat aihetta tarkastella asiaa uudelleen. Tällä kertaa asiaa kuitenkin tutkitaan tutkimuksen tilaajan tuotantotiloissa vallitsevissa olosuhteissa.

Tutkimuksen kohteeksi on valittu VaBe Oy:n elementtitehtaalla kolmessa eri tuotantotilassa valmistetut koekappaleet, joille on tehty erilaisia, kullekin tuotantotilalle tyypillisiä betonipinnan esikäsittelyjä. Tutkimuksessa käsitellään julkisivu- ja sisäseinäelementtejä vastaavia koekappaleita.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää laboratoriossa tehtävin tartuntalujuuskokein, mitkä käytetyt esikäsittelymenetelmät tilaajan tehtaalla olisivat riittäviä pintamateriaalien tartunta-alustaksi. Tutkimuksen esikäsittelymenetelmät ja pintamateriaalit on valittu yhdessä VaBe Oy:n kanssa, jotta tutkimus vastaisi todellisuutta mahdollisimman hyvin ja jotta tuloksia voitaisiin hyödyntää käytännössä. Tilaa jaa kiinnostaa erityisesti betonipinnan timanttihionnan vaikutus pintamateriaalien tartuntaan, koska hionnan tekeminen kestää kauan ja se joudutaan tekemään lähes jokaiselle väliseinäelementille.

Tutkimuksen alussa käsitellään tutkimukseen liittyvää teoriaa, kuten tartuntaa ja standardeja, jonka mukaan tutkimusta tehdään. Tämän jälkeen syvennytään tutkimusmateriaaliin ja tutkimuksen kulkuun, minkä jälkeen tarkastellaan tutkimustuloksia. Lopuksi kuvailaan tutkimuksen tuloksia ja tutkimusta kokonaisuudessaan.

2. TEORIA

2.1 Adheesio ja koheesio

Adheesiolla tarkoitetaan kahden eri aineen välistä vetovoimaa, joka pitää aineet yhdessä. Mitä suurempi aineiden välinen adheesio on, sitä tiukemmin aineet pysyvät yhdessä. Adheesio voidaan jakaa mekaaniseen adheesioon, kemialliseen adheesioon ja sähköstaattisiin sidoksiin. Mekaanisessa adheesiossa toinen materiaaleista täyttää toisen materiaalin pinnan reikiä ja huokosia, jolloin ne liittyvät yhteen. Kemiallisessa adheesiossa muodostuu kemiallinen liitos alustan ja pinnoitteen välille. Sähköstaattinen sidos aiheutuu sähkövarauksista pintojen molekyylien välillä. (Bikales, 1971, s.1)

Koheesio kuvaa aineen sisäistä vetovoimaa, joka pitää aineen koossa. Koheesio aiheutuu adheesion tavoin molekyylien välisistä vetovoimista. (Cohesion, 2009) Koheesion ja adheesion vetovoimat vaikuttavat lyhyellä etäisyydellä ja niiden suuruus riippuu tarkastelluista aineista ja pintojen esikäsittelystä (Pike, 2015).

Adheesion ja koheesion suuruutta voidaan kuvata tartuntalujuuden avulla. Aineiden välinen tartuntalujuus tai vastaavasti aineen sisäinen lujuus voidaan määrittää tartuntavetokokeiden avulla. Tartuntalujuus f_{ctb} (N/m^2) voidaan laskea yhtälöllä

$$f_{ctb} = \frac{F}{A}, \quad (1)$$

jossa F on murtovoima ja A mitattu pinta-ala. (SFS 5446 1988, s. 2)

Tulokseksi saatu tartuntalujuus on siis vetojännitys, joka tarvitaan murtamaan heikoin rajapinta tai heikoin komponentti. Murto voi siis tapahtua pintamateriaalin ja pinnoitetun kappaleen rajapinnassa, jolloin puhutaan adheesiomurtumasta tai murto voi olla alusmateriaalin tai pinnoitemateriaalin sisäinen koheesiomurto. Lisäksi murto voi tapahtua adheesio- ja koheesiomurron yhdistelmänä. (SFS 4624 2016, s. 13)

2.2 Standardi

Tutkimuksessa tehtävät betonipinnan ja pintamateriaalin väliset tartuntalujuuden vetokokeet on tehty standardin SFS 5446 (1988) mukaan. Standardia voidaan soveltaa kerroksittain valetun betonin kerroksien välisen tartuntalujuuden määrittämiseen sekä betonin pintamateriaalin ja betonin välisen tartuntalujuuden määrittämiseen.

Standardissa SFS 5446 (1998) on annettu luettelo laitteista ja tarvikkeista, joita kokeen suorittamiseen tarvitaan. Standardissa on myös kuvattu koemenetelmä pääpiirteittäin vaihe vaiheelta, kuten valmistavat toimenpiteet, mitä betonille joudutaan tekemään, kiinnitys- ja kiilavetolaitteen käyttö ja itse mittauksen tekeminen. Standardissa on selostettu mittauspöytäkirjan tekeminen, mittaustulosten arviointia ja koetuloksen hylkäämiseen johtavat perustelut.

3. TUTKIMUSMENETELMÄT

3.1 Koekappaleet

Koekappaleet valmistettiin VaBe:n kolmessa eri betonielementtituotantotilassa, hallissa, koska niissä vallitsevat erilaiset valmistusolosuhteet ja niissä käytetään erilaisia valmistusmenetelmiä. Tuotantotiloja ovat 4-halli, jossa valmistetaan pääasiassa julkisivuelementtejä ja parveke-elementtejä, sekä 2-halli, jossa valmistetaan pääasiassa väliseinäelementtejä, ja 1-halli, jossa valmistetaan väliseinäelementtejä ja kuorielementtejä. Erilaisien elementtityyppien lisäksi hallien välillä on eroja betonin tiivistämisessä, betonipinnan esikäsittelymenetelmissä ja käytetyissä betonilaaduissa sekä betonin valumenetelmissä. Halleissa 1 ja 2 valmistettiin molemmissa 16 koekappaletta ja 4-hallissa 14 koekappaletta eli yhteensä koekappaleita valmistettiin 46 kappaletta.

Koekappaleet olivat mitoiltaan 400 mm x 400 mm x 50 mm. Koekappaleista tehtiin tarkoituksella isoja, jotta vetonappien sijoittaminen betonipinnalle olisi helpompaa. Koekappaleiden muotit tehtiin kullekin hallille tyypillisellä tavalla. Hallin 4 muottipinnossa käytettiin emulsiota ja 1- ja 2-hallin muottipinnoissa käytettiin halleille tyypillistä muottiljyä. Koekappaleet valmistettiin kullekin hallille tyypillisellä betonilaadulla, jotka on esitetty taulukossa 1. Hallin 4 maalausalausta koekappaleiden betonissa käytettiin lisäksi hidastinta.

Taulukko 1. Koekappaleiden betonilaadut

Tuotantolinja	Betonilaatu
4-halli	XF XC3 C30/37
1-halli	XC1 C30/37
2-halli	XC1 C25/30

3.2 Esikäsittelymenetelmät

Koekappaleille tehtiin erilaiset betonipintojen esikäsittelyt VaBe:n tehtaalla. Kullakin betonin esikäsittelymenetelmällä pyritään saamaan aikaiseksi halutun näköiset ja halutun tuntuiset betonipinnat, joilla on niille ominaiset pintamateriaalien tartuntaominaisuudet.

Yksi syy betonin esikäsitteilylle on kovettuneen sementtiliiman poisto. Sementtiliima on veden ja sementin seos, joka kovettuessaan muodostaa kovettunutta sementtiliimaa eli sementtikiveä (BY 201 2004, s.75). Sementtiliima voidaan poistaa muun muassa timanttihiolla tai hiekkapuhaltamalla. Lisäksi betonin esikäsitteilyllä pyritään saamaan pinnasta suorempi.

Tässä työssä tutkittavat ja vertailtavat esikäsitteilymenetelmät ja niitä vastaavat betonipinnat ovat tyypillisiä betonielementtien valmistuksessa. Tutkittavia pintoja ovat maalaus- alusta, telattu, timanttihiottu sekä puu- ja teräshierretty pinta. Lisäksi yhtenä tutkittavana pintana on teräsmuottia vasten valettu pinta. Esikäsitteilyistä timanttihiointa ja maalaus- alustakäsittely on tehty vuorokauden vanhalle betonille ja muut kostealle betonille ennen sementtiliiman kovettumista. Eri halleissa tehdyt koekappaleiden esikäsitteilymenetelmät on esitetty taulukossa 2. Liitteessä A on esitetty kuvat tarkastelluista betonipinnoista.

Taulukko 2. *Tuotantotilakohtaiset esikäsitteilymenetelmät*

Tuotantotila	Esikäsitteilymenetelmä	Kuvaus
4-halli	maalaus- alusta käsittely	betonipinta pesty painepesurilla
	telapinta	telattu betonipinnan ollessa kostea
	hierto	puu- ja teräshierto käsin
	muottipinta	teräsmuottia vasten valettu, emulsio
1-halli	timanttihiointa	betonipinta hiottu timanttilaikalla
	hierto	puu- ja teräshierto käsin
	muottipinta	teräsmuottia vasten valettu, muottiöljy
2-halli	timanttihiointa	betonipinta hiottu timanttilaikalla
	hierto	puu- ja teräshierto käsin
	muottipinta	teräsmuottia vasten valettu, muottiöljy

3.3 Pintamateriaalit

Pintakäsittelymateriaalit valittiin yhdessä tilaajan kanssa materiaalivalmistajien tuotetietoja hyödyntäen. Pintakäsittelymateriaaleiksi pyrittiin valitsemaan eri valmistajien materiaaleja, jotka ovat tyypillisiä tarkasteltaville elementtipinnoille. Pintakäsittelymateriaali- ja esikäsitteily-yhdistelmiä valittaessa otettiin huomioon niiden yhteensopivuus käytännössä. Valitut pintakäsittelymateriaalit sisä- ja ulkoseinille on esitetty taulukossa 3. Taulukossa 3 on myös esitetty vetokokeissa käytetty tunnistelyhenne pintamateriaalista.

Hallien 2 ja 1 tapauksessa tutkittiin sisäseinämaaleja ja hallin 4 tapauksessa julkisivumaaleja. Muuten tutkittavat materiaalit olivat hallien kesken samat.

Taulukko 3. Sisä- ja ulkoseinien pintakäsittelymateriaalit

Tuotanto-tila	Pintakäsittelymateriaali	Tunniste
2-halli/1-halli	Tikkurila Ässä 1 katto- ja pohjamaali	Maali 1
	Tikkurila Siro 2 pohja- ja katto- maali	Maali 2
	Casco AquaStop vedeneriste, Casco Primer	Vedeneriste
	Weber Vetonit L seinätasoite	Tasoite 1
	Fescon VF pohjatasoite	Tasoite 2
	Weber Vetonit Flex S2 laattalaasti	Laasti
4-halli	Tikkurila Finngard 150 suojamaali	Maali 3
	Findur julkisivumaali, Findur JSM väripohja	Maali 4
	Casco AquaStop vedeneriste, Casco Primer	Vedeneriste
	Weber Vetonit L seinätasoite	Tasoite 1
	Fescon VF pohjatasoite	Tasoite 2
	Weber Vetonit Flex S2 laattalaasti	Laasti

Taulukoissa 4–6 on esitetty erilaiset esikäsitteily- ja pintamateriaaliyhdistelmät kullekin tuotantotilalle. Taulukoihin on merkitty rasti kunkin tutkitun pintamateriaali- ja betoni-pintayhdistelmän kohdalle.

Taulukko 4. 4-hallin esikäsitteily- ja pintamateriaaliyhdistelmät

Pintakäsittelymateriaali	Maali 3	Maali 4	Tasoite 1	Tasoite 2	Laasti	Vedeneriste
Maalausalusta	x	x				
Telapinta	x	x				
Hierro ja liippaus			x	x	x	x
Muottipinta	x	x	x	x	x	x

Taulukko 5. 1-hallin esikäsitteily- ja pintamateriaaliyhdistelmät

Pintakäsittelymateriaali	Maali 1	Maali 2	Tasoite 1	Tasoite 2	Laasti	Vedeneriste
Timanttihionta	x	x	x	x	x	x
Hierro ja liippaus			x	x	x	x
Muottipinta	x	x	x	x	x	x

Taulukko 6. 2-hallin esikäsitteily- ja pintamateriaaliyhdistelmät

Pintakäsittelymateriaali	Maali 1	Maali 2	Tasoite 1	Tasoite 2	Laasti	Vedeneriste
Timanttihionta	x	x	x	x	x	x
Hierro ja liippaus			x	x	x	x
Muottipinta	x	x	x	x	x	x

3.4 Koejärjestelyt ja työn kulku

Kaikki koekappaleet valettiin ja pintakäsiteltiin VaBe:n tuotantotiloissa 2–3.11.2017 ja ne toimitettiin 4 vuorokauden ikäisinä Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan tutkimuslaboratorioon kuivumaan sekä odottamaan pintamateriaaleilla päällystämistä ja vetokokeiden tekemistä. Koekappaleet varastoitiin olosuhdehuoneeseen, jonka lämpötilaa ja suhteellista kosteutta pystyttiin säätämään ja pitämään vakiona. Koekappaleet varastoitiin pystyasennossa, jolloin kuivuminen oli mahdollista joka suuntaan ja näin mahdollisimman tasaista. Olosuhdehuoneessa oli kuivumisen ajan noin 19° C ja ilman suhteellinen kosteus oli hieman yli 40 %. Kunkin tuotantotilan yhden koekappaleen kylkeen porattiin reikä, jotta betonin suhteellista kosteutta pystyttiin tarkkailemaan säilytyksen ajan. Reiän poraamisen jälkeen siihen työnnettiin sähköputki ja reikä tukittiin noin vuorokauden ajaksi umpeen, jotta poraamisesta syntyvä lämpö pääsisi tasoittumaan eikä näin vaikuttaisi mittaustulokseen. Suhteellinen kosteus todettiin porareikämenetelmällä

Vaisala HMP44 -mittapäällä ja reikä tiivistettiin kosteuden pois pääsemisen estämiseksi. Mittapäitä pidettiin koekappaleissa ensimmäisten koekappaleiden pinnoittamiseen asti.

Koekappaleiden pinnoitustyöt aloitettiin, kun kaikkien tarkkailtujen koekappaleiden suhteellinen kosteus oli alittanut halutun 80 %. Pinnoitustyöt tehtiin 13.1–24.1.2018 rakennustekniikan laboratorion tiloissa vaakatasossa oleville koekappaleille. Pinnoitustyöt suoritti kandidaatintyön tekijä. Pinnoitustöissä noudatettiin valmistajakohtaisia työohjeita ja pinnoitteiden paksuuden varmistamiseksi laskettiin valmistajan antamien menekkien perusteella tarvittavan materiaalin määrä. Paksuudet todennettiin punnitsemalla koekappaleet ennen ja jälkeen pinnoituksen, jonka jälkeen painoeroa verrattiin materiaalimenekkiin. Vedeneristeen ja toisen julkisivumaalin tapauksessa koekappale pinnoitettiin ensin pohjusteella valmistajan ohjeen mukaan. Lisäksi vedeneristeellä päällystettävien ja sisäseinien maalattavien koekappaleiden pinnoitus tehtiin kahteen kertaan valmistajan suosituksen mukaan. Kunkin pintamateriaalin keskimääräinen paksuus on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Pintamateriaalien keskimääräiset paksuudet

Materiaali	Paksuus (mm)
Maalit	0,4 mm
Laasti	3 mm
Vedeneriste	0,4 mm
Tasoitteet	2 mm

Pinnoitustöiden jälkeen koekappaleiden kyljet teipattiin alumiiniteipillä ja varastoitiin niin että kuivuminen oli mahdollista pinnoitetulta ja sitä vastaiselta pinnalta. Koekappaleita varastoitiin vakio-olosuhteissa vetokokeiden tekemiseen asti.

Maalien ja laastin koestusikä on minimissään kaksi viikkoa ja tasoitteilla minimissään neljä viikkoa. Vetokokeet tehtiin 7.2–20.2.2018 välisenä aikana. Vetokokeet tehtiin standardia SFS 5446 (1998) soveltaen rakennustekniikan laboratoriossa. Koemenetelmää testattiin aluksi käyttäen 100 mm x 100 mm vetonappia ja liimana metallikovetetta, mutta menetelmää jouduttiin kuitenkin vaihtamaan liiman huonon pitävyyden ja työlään liimausprosessin takia. Kaikki vetokokeet tehtiin lopulta pyöreillä vetonapeilla, jonka halkaisija oli 50 mm, ja liimana käytettiin super- ja pikaepoksia. Pienemmät vetonapit oli helpompi sijoitella koekappaleen päälle, ja niiden liimaaminen oli helpompaa. Liiman pettämisen riski väheni myös pienemmän liimauspinta-alan takia. Kaikki 100 mm x 100 mm vetonapeilla saadut tulokset hylättiin, jotta koestukset olisivat keskenään mahdollisimman samankaltaisia.

Vetokokeet suoritettiin asiaan tarkoitettulla tartuntavetolaitteella (kuva 1). Ennen vetokokeen aloitusta vetonappi rajattiin veitsellä tai poraamalla niin että tartuntapinta-ala oli vetonapin kokoinen. Koelaitteen istukka ruuvattiin vetonappiin ja vetolaitteen näytöltä valittiin ensiksi kuormitusnopeus, joka oli tässä tapauksessa 50 N/s. Tämän jälkeen vetolaitteen näytöltä valittiin käytetyn kuormitusnapin koko, minkä jälkeen kuormitus aloitettiin pitämällä kuormituslaitteen nappia pohjassa. Koska vetolaitteessa ei ollut vaihtoehtona vetonappia, jonka halkaisija olisi ollut 50 mm, jouduttiin vetolujuus laskemaan jakamalla vetolujuuden voima vetonapin pinta-alalla. Vetolaitteen kapasiteetti oli vain 2 000 N, joten vetonapin kokoa pienentämällä saatiin kuormitusjännitystä f_{ctb} kasvatettua.



Kuva 1. Tartuntavetolaite

4. TUTKIMUKSEN TULOKSET

4.1 Kosteusolosuhteet

Koekappaleiden kosteuksissa oli havaittavissa vaihtelua, joka voi johtua paksuuseroista koekappaleiden välillä. Tarkkailtaviksi koekappaleiksi valittiin kunkin tuotantotilan paksuimmat koekappaleet, jotta voitaisiin olla varmoja siitä, että kaikkien laattojen suhteellinen kosteus oli alittanut halutun 80 %. Mitatut kosteudet on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Koekappaleiden suhteelliset kosteudet

Tuotantotila	Suhteellinen kosteus
4-hallin koekappale	68,5 %
1-hallin koekappale	70,5 %
2-hallin koekappale	76,5 %

Olosuhdehuoneen ilmankosteutta säädettiin ilmankosteuttajan avulla ja tilassa oli kolme mittaria, jotka mittasivat huoneen lämpötilaa ja suhteellista ilmankosteutta tasaisin väliajoin. Mittarien pitkänajan keskiarvot ja niiden yhteinen keskiarvo on esitetty taulukossa 9. Olosuhteiden seuranta aloitettiin muutama päivä koekappaleiden toimituksen jälkeen ja lopetettiin 18.2.2018 kun tasoitteiden vetokokeet alkoivat.

Taulukko 9. Olosuhdehuoneen ilmankosteus ja lämpötila

Olosuhdehuone	Aika	9.11.2017-18.2.2018
Suure	RH (%)	Lämpötila (°C)
Mittari 1	41,99 %	18,95°C
Mittari 2	40,55 %	19,83°C
Mittari 3	43,07 %	18,95°C
Keskiarvo	41,9 %	19,2°C

4.2 Vetolujuudet

Betonirakentamisen laatuohjeet BY 47 kirjassa on esitetty kohdassa ”Epäorgaanisten pinnoitteen laatuvaatimukset”, että tartunnan keskiarvon tulee olla $\geq 0,8$ MPa ja lisäksi yksittäisen mittaustuloksen on oltava $\geq 0,5$ MPa epäorgaanisilla pinnoitteilla. Orgaanisille pinnoitteille on annettu samat ohjearvot kuin epäorgaanisille pinnoitteille. Lisäehdoksi on annettu sisäisen vetolujuuden arvo, jos pinnoitteen sisäinen koheesio pettää. Epäorgaanisille pinnoitteille lisäehto on $\geq 0,2$ MPa ja orgaanisille yhdisteille $\geq 0,4$ MPa. Kaikki ohjearvot koskevat yli 0,4 mm paksuista pintamateriaalikerrosta. (BY 47 2000, s. 82, 87)

Kullekin koekappaleelle tehtiin kolme tartuntavetokoetta, joista laskettiin aritmeettinen keskiarvo. Vetokokeiden tulokset on esitetty taulukoissa 10–13. Taulukoissa on ilmoitettu kunkin pintamateriaalin tartuntalujuus tiettyyn betonipintaan yksikössä MPa. Adheesiomurron tartuntalujuuden ohjearvon 0,8 MPa ja koheesiomurron ohjearvon 0,2 MPa täyttävät tulokset on merkitty vihreällä. Kummankin murtotyypin ohjearvon alittavat tulokset on merkitty punaisella. Kunkin tartuntalujuuden alla on vielä ilmoitettu murtotapa kirjaintunnuksella ilmaistuna. Kirjaintunnukset on esitetty taulukossa 14. Murtotapoja on selitetty enemmän kappaleessa 4.3.

Taulukko 10. Maalien tartuntalujuudet

Maalit	Maali 1		Maali 2		Maali 3	Maali 4
	2-halli	1-halli	2-halli	1-halli	4-halli	4-halli
Timanttihi- onta	2,4	1,7	1,7	2,1		
	A/B	B	A/B	B		
Muottipinta	1,0	1,1	0,8	1,4	1,3	3,1
	A/B	A/B	B	B	B	A
Telapinta					0,5	1,5
					B	B
Maalauslusta					2,9	2,9
					A	A

Taulukko 11. Vedeneristeen tartuntalujuus

Vedeneriste	2-halli	1-halli	4-halli
Timanttihi- onta	2,3	2,2	
	B	B	
Muottipinta	0,7	0,9	2,2
	B	B	B
Hierretty pinta	0,9	1,6	1,4
	B	A/B	B

Taulukko 12. Laastin tartuntalujuus

Laasti	2-halli	1-halli	4-halli
Timanttihi- onta	1,6 C	1,6 C	
Muottipinta	0,4 B	0,7 B	1,6 B/C
Hierretty pinta	1,6 B	1,6 B	1,4 B

Taulukko 13. Tasoitteiden tartuntalujuudet

Tasoite	Tasoite 1			Tasoite 2		
	2-halli	1-halli	4-halli	2-halli	1-halli	4-halli
Timanttihionta	0,2 C	0,2 C		0,6 C	0,7 C	
Muottipinta	0,3 C	0,2 C	0,2 C	0,3 C	0,4 C	0,4 C
Hierretty pinta	0,3 C	0,3 C	0,2 C	0,4 C	0,7 C	0,6 C

Taulukko 14. Murtotavat

Tunnus	Selite
A	Alusbetonin sisäinen koheesiomurto
B	Betonin ja pintamateriaalin rajapinnan adheesiomurto
C	Pintamateriaalin sisäinen koheesiomurto
B/C	Murto osittain betonin ja pintamateriaalin rajapinnassa, osittain sisäinen murto
A/B	Murto osittain alusbetonin sisäinen ja osittain betonin ja pintamateriaalin rajapinnassa

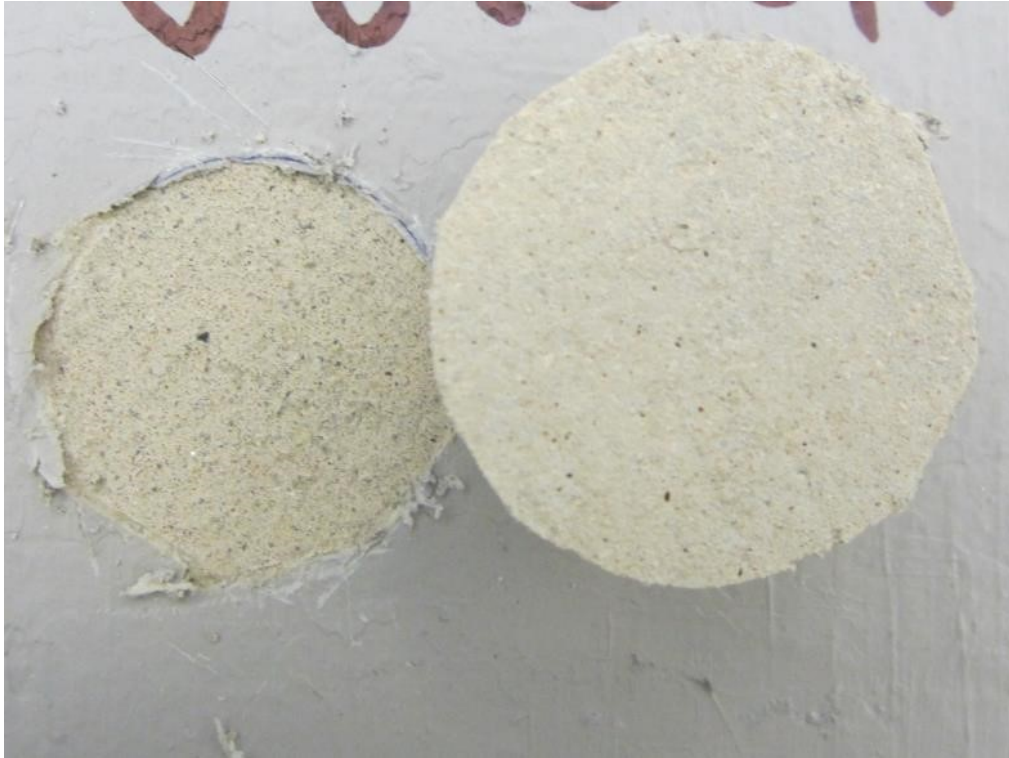
4.3 Murtotavat

Pintamateriaalien tartuntalujuutta tutkittaessa esiintyi kolme selkeää murtotapaa. Murtotapoja olivat alusbetonin sisäinen koheesiomurto (tunnus A), alusbetonin ja pintamateriaalin välisen rajapinnan adheesiomurto (tunnus B) ja pintamateriaalin sisäinen koheesiomurto (tunnus C). Alusbetonin koheesiomurrossa (Kuva 2) pintamateriaalin tartuntalujuus oli suurempi kuin betonin sisäinen vetolujuus, jolloin vetonappiin jäi pintamateriaalin lisäksi betonia ja paljastuva betonipinta oli rikkonainen. Betonin ja pintamateriaalin rajapinnan adheesiomurrossa (Kuva 3) pintamateriaali lähti irti niin että esiin paljastui paljas ja ehjä betonipinta. Pintamateriaalin sisäisessä murrossa (Kuva 4) pintamateriaalin koheesio petti ja pintamateriaalia jäi betonipintaan kuin myös vetonappiin.

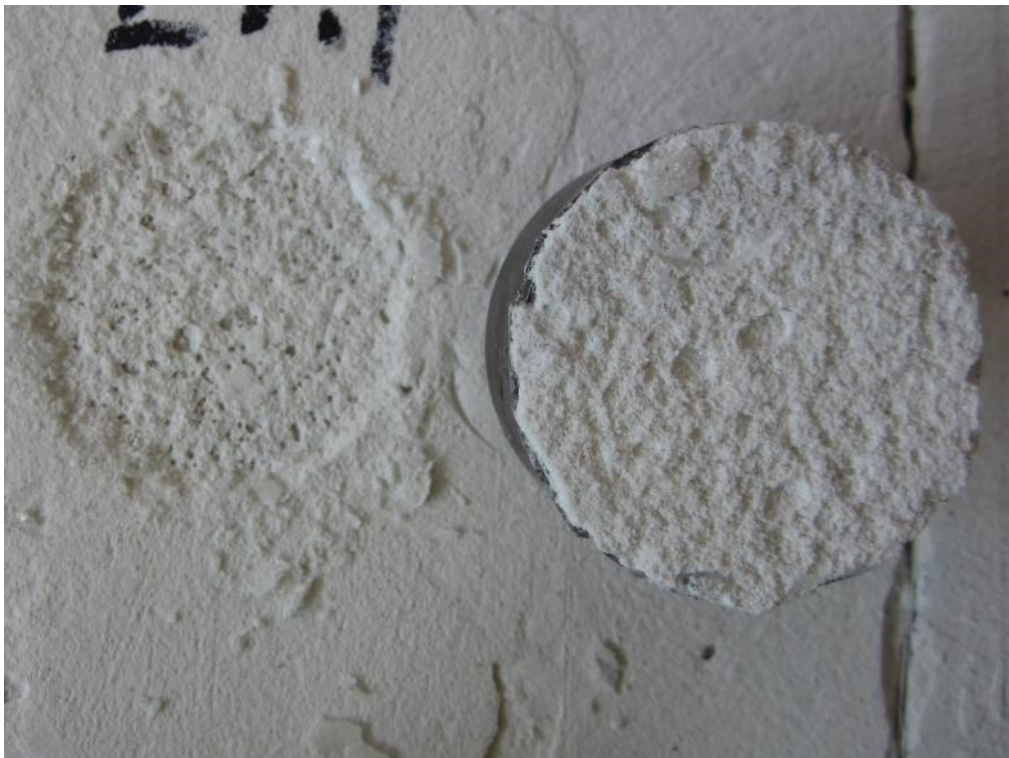
Joissakin tapauksissa esiintyi yhdistelmämurto, josta ei voitu päätellä mikä murtotapa tarkalleen on kyseessä. Tällaisia olivat muun muassa tapaukset, joissa murto tapahtui osittain alusbetonin sisäisesti, sekä osittain alusbetonin ja pintamateriaalin rajapinnassa (kuva 5) sekä tapaukset, joissa murto tapahtui alusbetonin, sekä pintamateriaalin rajapinnassa ja pintamateriaalin sisäisesti (Kuva 6). (SFS 4624 2016, s.13)



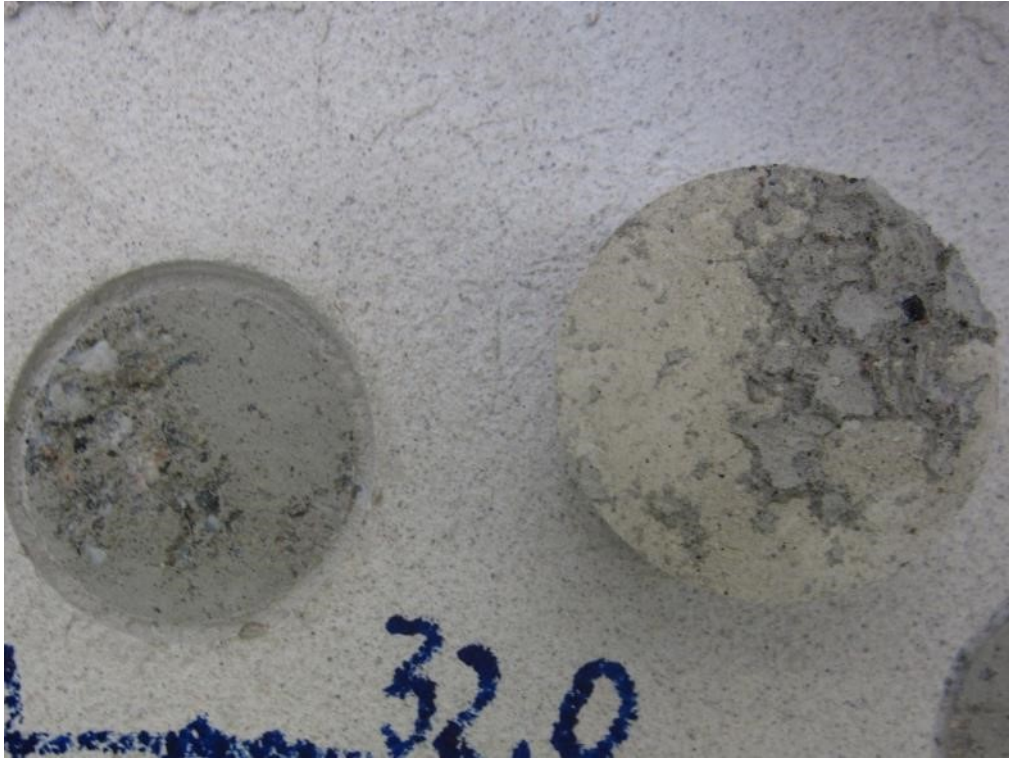
Kuva 2. Alusbetonin koheesiomurto



Kuva 3. *Alusbetonin ja pintamateriaalin rajapinnan adheesiomurto*



Kuva 4. *Pintamateriaalin koheesiomurto*



Kuva 5. Osittainen alusbetonin koheesiomurto ja alusbetonin sekä pintamateriaalin rajapinnan adheesiomurto



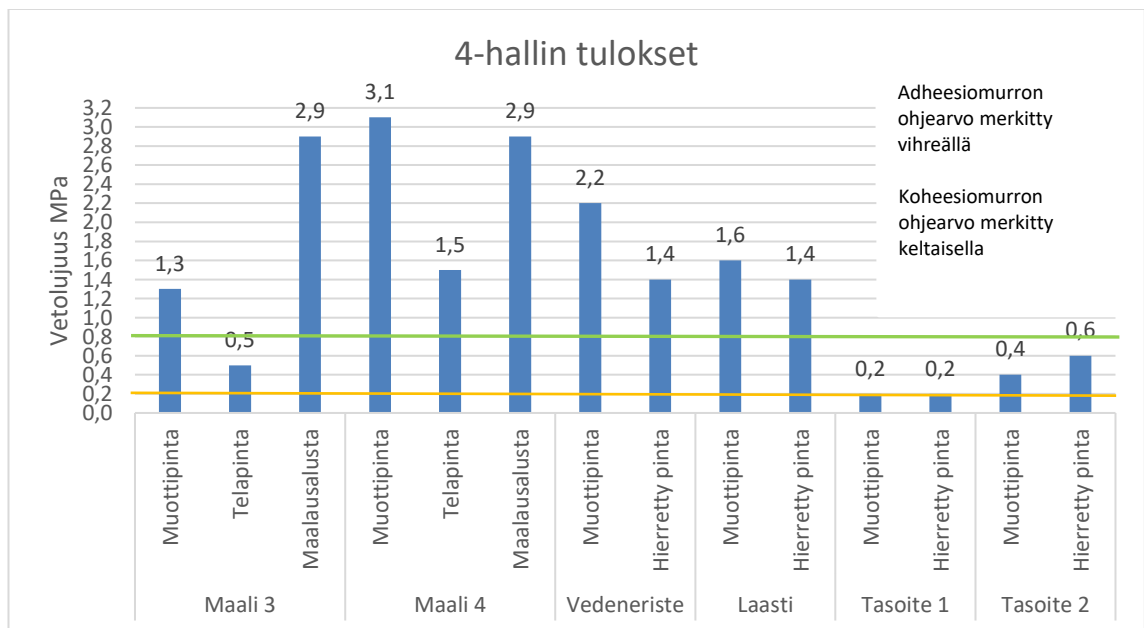
Kuva 6. Osittainen alusbetonin ja pintamateriaalin rajapinnan adheesiomurto sekä pintamateriaalin koheesiomurto

5. TULOKSIEN TARKASTELU

5.1 4-hallin tulokset

Kaikista 4-hallin maali- ja esikäsittely-yhdistelmistä vain telattu pinta yhdessä toisen tarkastellun julkisivumaalin, maalin 3, kanssa ei täyttänyt asetettua ohjearvoa. Kyseinen maali täytti ohjearvon kuitenkin muiden tarkasteltujen esikäsittelypintojen kanssa. Eri esikäsittelyjen kesken eniten eroa oli telapinnan ja kahden muun pinnan välillä. Muottipinnan ja maalausalustan välillä ei ollut suurta eroa maalin 4 tartuntaa tarkasteltaessa, kun taas maalin 3 tapauksessa eroa oli reilusti. Maalin 3 tartunta telattuun pintaan ja muottipintaan oli noin 1 MPa huonompi kuin vastaava maalin 4 tartuntalujuus. Suurin ero maalien 3 ja 4 välillä oli, että maali 4 oli kaksikomponenttimaali ja että sen alle oli maalattu väripohja, mikä voi osaltaan selittää tartuntalujuuden eroa. Kummankin maalin tartuntalujuus oli riittävä muilla betonin esikäsittelyllä paitsi maalin 3 ja telapinnan tapauksessa.

Tulosten perusteella voidaan varauksella sanoa, ettei betonin esikäsittelyllä katsota olevan merkityksellistä eroa ja lähes kaikki betonin esikäsittelypinnat sopivat maalien tartunta-alustaksi. Maaleja valittaessa tulee kuitenkin olla huolellinen telatun pinnan tapauksessa. Kaikki maalien murrot tapahtuivat joko alusbetonin sisäisesti tai alusbetonin ja maalin rajapinnan murtona. Kaikki 4-hallin pintamateriaalien vetolujuudet kullekin esikäsittelypinnalle on esitetty kuvan 7 kaaviossa. Kaavioon on merkitty vihreällä viivalla adheesiomurron ohjearvo ja keltaisella koheesiomurron ohjearvo.



Kuva 7. 4-hallin tulokset

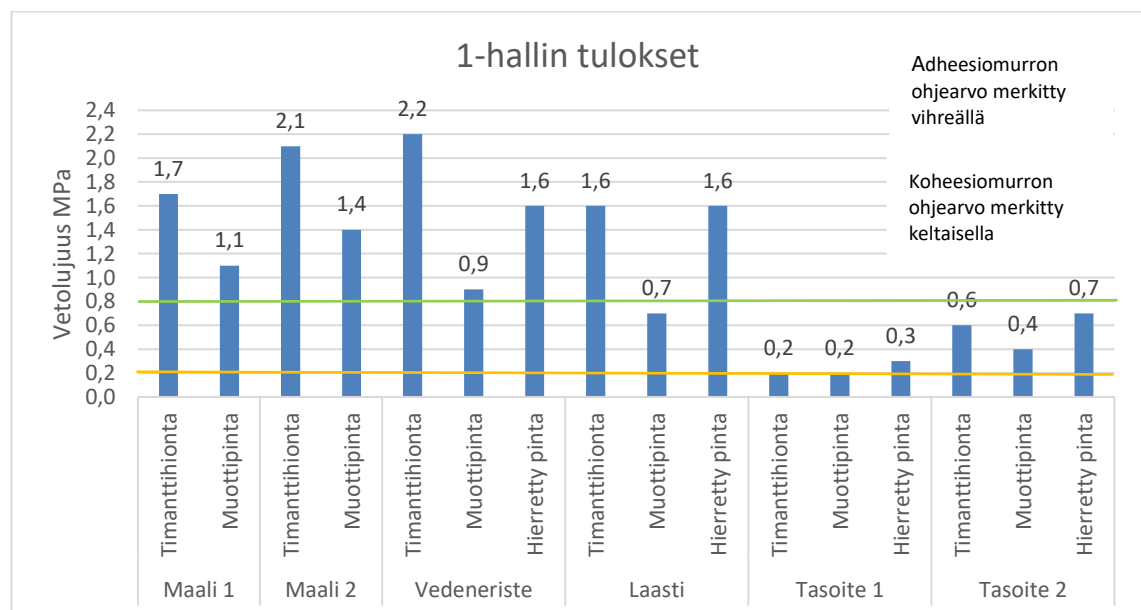
Muottipintaan levitetyn vedeneristeen tartuntalujuuden arvo oli hieman suurempi kuin hierrettyyn pintaan levitetyn. Kummankin betonipinnan ja vedeneristeen välinen tartuntalujuus oli kuitenkin riittävä. Kaikki murrot tapahtuivat vedeneristeen ja alusbetonin rajapinnassa

Laastin tartunnassa muottipinnan ja hierretyn pinnan välillä ero oli pieni ja molempien pintojen tartuntalujuus oli riittävä. Hierretyn pinnan ja laastin välinen murto tapahtui niiden rajapinnassa, kun taas muottipinnan ja laastin välillä osittain rajapinnassa ja osittain laastin sisäisesti.

Kummankin tasoitteen murtuminen tapahtui sisäisesti, jolloin eri esikäsitteilypintojen soveltuvuutta tasoitteen tartuntaan ei voida verrata keskenään. Kummatkin tarkastellut tasoitteet olivat hauraita ja ne murtuivat suhteellisen pienillä vetolujuuksilla. Kaikki esikäsitteilypinnat täyttivät pintamateriaalille asetetun sisäisen koheesiomurron ohjearvon 0,2 MPa, joten tasoitteiden tartunnan voidaan katsoa olevan riittävä.

5.2 1-hallin tulokset

Hallin 1 kaikki maali- ja esikäsitteily-yhdistelmät täyttivät annetun ohjearvon. Tartuntalujuus oli kummankin maalin tapauksessa noin 0,6 MPa suurempi timanttihiottuun pintaan kuin muottipintaan. Kuitenkin voidaan katsoa muottipinnan olevan myös riittävä maalien tartunta-alustaksi. Suurin osa maalien ja betonipinnan välisistä murroista tapahtui maalin ja alusbetonin rajapinnassa ja muutama osittain alusbetonin sisäisesti. Kaikki 1-hallin tulokset on esitetty kuvan 8 kaaviossa. Kaavioon on merkitty vihreällä viivalla adheesiomurron ohjearvo 0,8 MPa ja koheesiomurron ohjearvo 0,2 MPa keltaisella viivalla.



Kuva 8. 1-hallin tulokset

Vedeneristeen tapauksessa kaikki 1-hallin tutkitut pinnat täyttivät asetetun ohjearvon. Vedeneristeen tartunta muottipintaan oli kuitenkin selvästi huonompi, kuin tartunta hierrettyyn tai timanttihiottuun pintaan. Tulos voi mahdollisesti johtua muottiöljyn ja vedeneristeen yhteensopimattomuudesta, sillä 2-hallin tuloksissa oli havaittavissa samaa ilmiötä. Timanttihiotun ja muottipinnan tapauksessa murto tapahtui vedeneristeen ja alusbetonin rajapinnassa, kun taas hierretyn pinnan tapauksessa osittain rajapinnan ja alusbetonin yhdistelmämurtona.

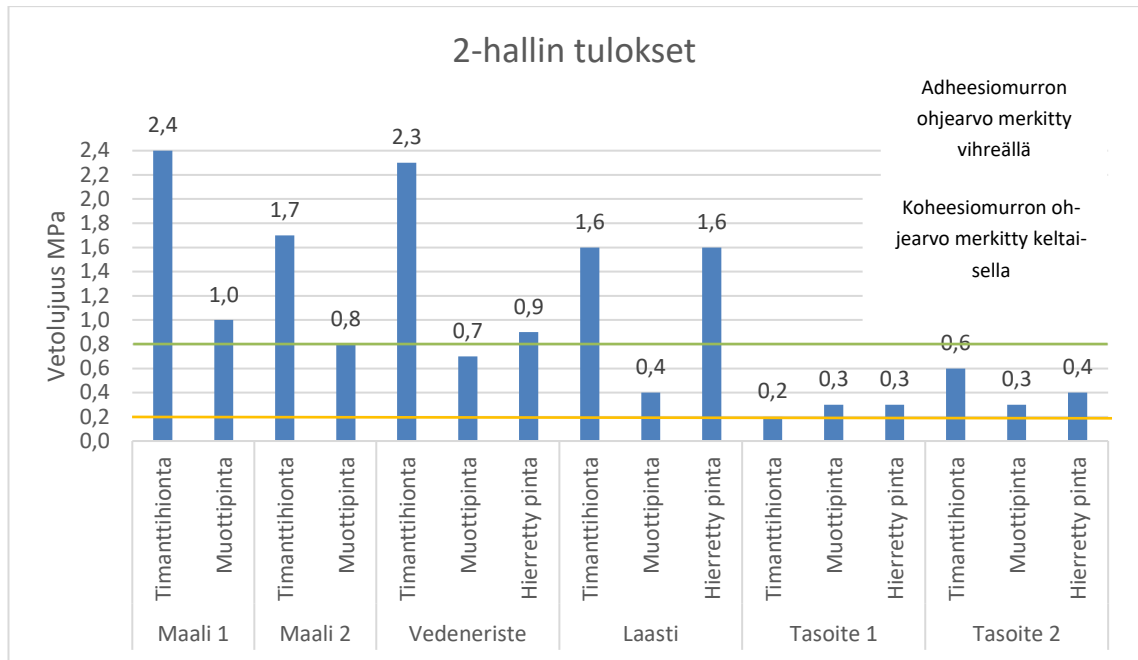
Laastin tartuntalujuudessa ei ollut eroa hierretyn ja timanttihiotun pinnan välillä. Laastin tartunta muottipintaan ei kuitenkaan ollut riittävä sen tartuntalujuuden suuruuden ollessa 0,7 MPa. Tämä voi johtua muottiöljyn ja laastin yhteensopimattomuudesta. Laastin murto tapahtui timanttihiotun ja hierretyn pinnan tapauksessa laastin sisäisesti, mutta koska molemmat esikäsittelypinnat täyttivät sisäisen murron ohjearvon, voidaan niiden katsoa sopivan laastin tartunta-alustaksi. Muottipinnan ja laastin välinen murto tapahtui niiden välisenä adheesiomurtona.

Myöskään 1-hallin tapauksessa tasoitteiden tartuntaa eri esikäsittelypintoihin ei voida vertailla, sillä kaikki tasoitteet murtuivat sisäisesti. Kaikki 1-hallin esikäsittelypinnat täyttivät sisäisen murron ohjearvon.

5.3 2-halli tulokset

Hallin 2 kaikkien maalien tartuntalujuudet täyttivät annetun ohjearvon. Ero timanttihiotun pinnan ja muottipinnan välillä oli selkeä kummallakin testatulla maalilla. Suurimmaksi osin murrot maalien ja betonipintojen välillä tapahtuivat osin alusbetonin sisäisesti ja osin alusbetonin ja maalin rajapinnassa.

Hallin 2 tapauksessa vedeneristeen tartuntalujuus ei täyttänyt ohjearvoa yhdessä muottipinnan kanssa, tartuntalujuuden ollessa 0,7 MPa. Ohjearvo täyttyi hierretyn ja timanttihiotun pinnan tapauksessa. Kaikki vedeneristeen ja alusbetonin väliset murrot tapahtuivat niiden rajapinnassa adheesiomurtona.



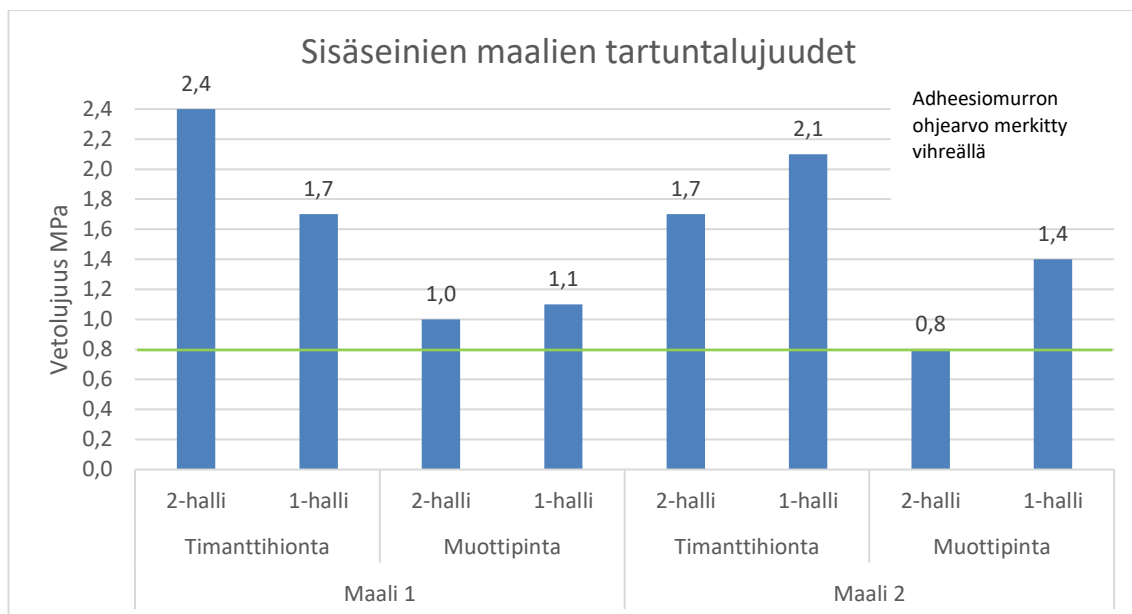
Kuva 9. 2-hallin tulokset

Laastin tartunnassa hierrettyyn ja timanttihiottuun pintaan ei ollut eroa ja niiden tartuntalujuudet täyttivät annetun ohjearvon. Laastin tartunta muottipintaan ei ollut riittävä, vetolujuuden ollessa 0,4 MPa. Laastin huono tartunta voi mahdollisesti johtua käytetystä muottiöljystä. Laastin murto tapahtui sisäisenä koheesiomurtona, tarkasteltaessa hierrettyä ja timanttihiottua pintaa. Muottipinnan tapauksessa murto tapahtui laastin ja alusbetonin rajapinnan adheesiomurtona.

Kaikki 2-hallin tasoitteet murtuivat tasoitteen sisäisesti koheesiomurtona, joten eri betonipintojen soveltuvuutta tasoitteen tartuntaan eikä betonipintojen välisiä eroja voida tutkia. Kaikki esikäsittelypinnat täyttivät koheesiomurrolle annetun ohjearvon.

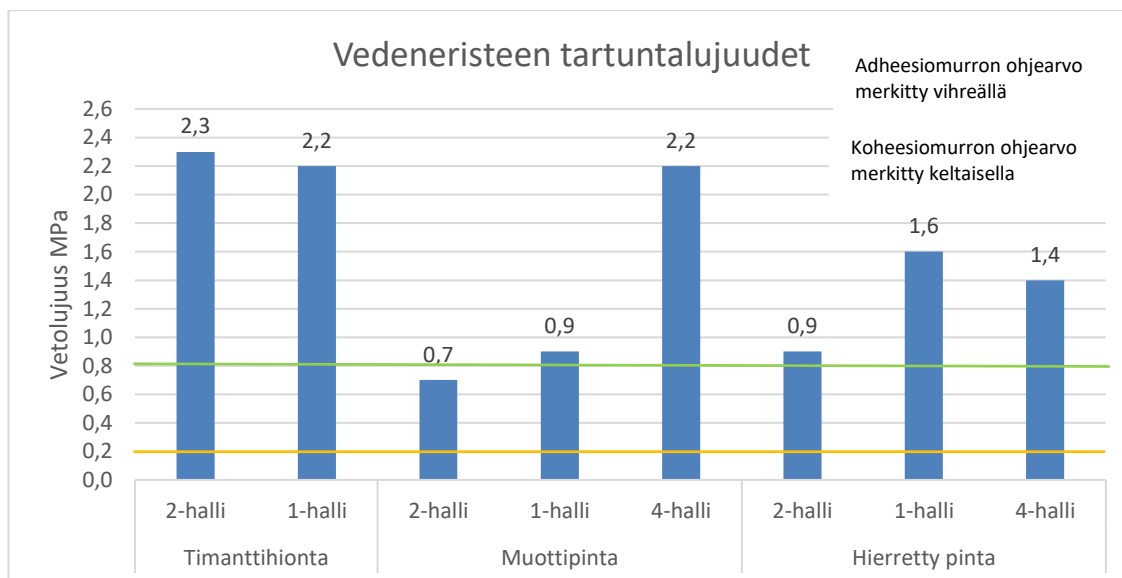
5.4 Hallien väliset erot

Sisäseinien maalien, maalin 1 ja maalin 2, tartunnassa muottipintaan ei ollut havaittavissa selkeää eroa. Maalin 1 tartuntalujuuden suuruus 1- ja 2-hallin muottipintojen tapauksissa oli lähes sama, kun taas maalin 2 tartuntalujuus oli hieman suurempi 1-hallin muottipinnan tapauksessa. Timanttihiottuissa pinnoissa maalien tartunnan vetolujuus vaihteli, sillä maalin 1 tartunta oli parempi 2-hallin tapauksessa, kun taas maalin 2 tartunta oli parempi 1-hallin tapauksessa. Murtotavat myös vaihtelivat hallien kesken jonkin verran, sillä osa mуроista tapahtui alusbetonin sisäisesti, alusbetonin rajapinnassa tai näiden yhdistelmänä. Kuvan 10 kaaviossa on esitetty 1- ja 2-hallin väliset erot sisäseinien maalien tartunnassa.



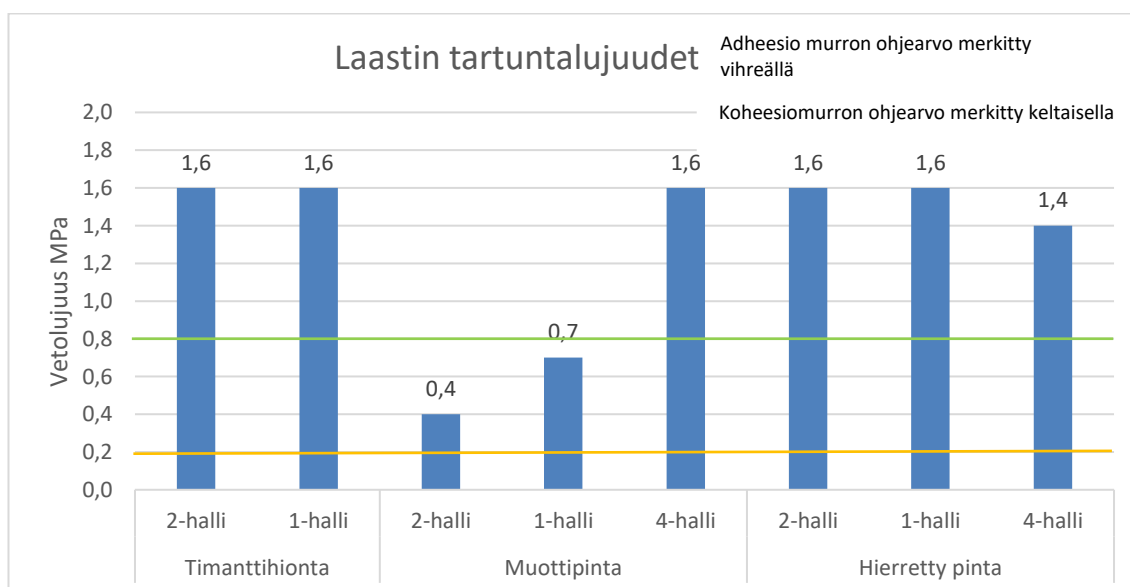
Kuva 10. Sisäseinien maalien tartunnan erot

Vedeneristeen tartuntalujuudessa timanttihioittuihin pintoihin ei ollut havaittavissa eroa eri hallien välillä. Suurin ero vedeneristeen tartunnassa oli sisäseinien koekappaleiden ja julkisivukoekappaleiden muottipintojen välillä. Hallien 1 ja 2 tapauksessa tartuntalujuus oli alle 1 MPa luokkaa, kun taas 4-hallin tartuntalujuus oli yli 2 MPa. Ero voi johtua siitä, että 1- ja 2-hallin tapauksessa on käytetty muottiöljyä muottipinnassa, kun taas 4-hallissa on käytetty emulsiota. Vedeneristeen tartunnassa hierrettyyn pintaan ei ollut eroa 1-hallin ja 4-hallin välillä niiden tartunnan ollessa noin 1,5 MPa luokkaa. 2-hallin tapauksessa tartuntalujuus oli huonompi, alle 1,0 MPa luokkaa. Murtotavoissa ei ollut suuria eroa hallien välillä vaan murtuminen tapahtui pääasiassa vedeneristeen ja alusbetonin välisenä adheesiomurtona. Kuvan 11 kaaviossa on esitetty vedeneristeen tartunnan erot hallien välillä.



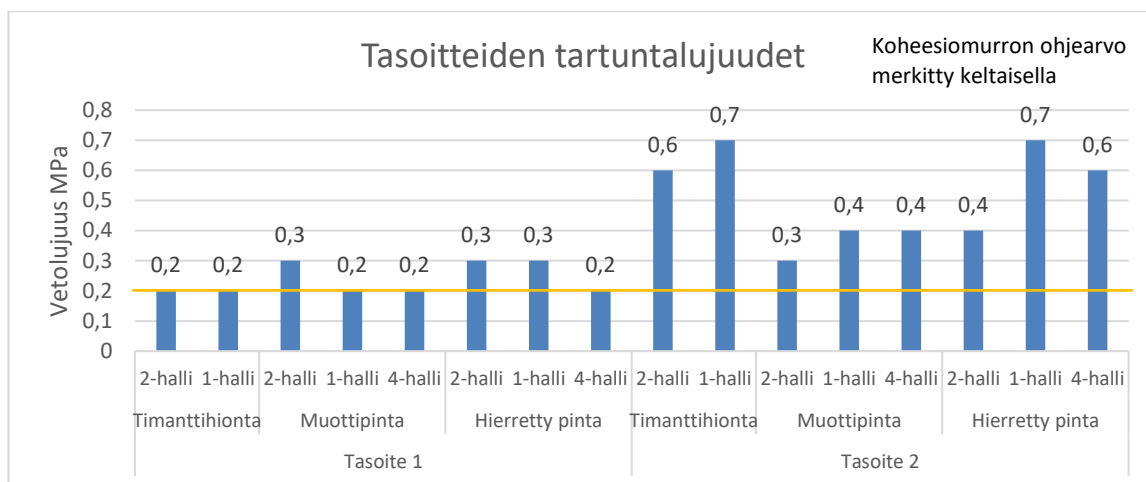
Kuva 11. Vedeneristeen tartunnan erot

Laastin tartunnassa timanttihioituihin pintoihin ei ollut eroa 1- ja 2-hallin välillä. Myöskään tartunnassa hierrettyjen pintojen välillä ei ollut suurta eroa. Suurin ero laastin tartunnassa muodostui sisäseinien ja julkisivujen muottipinnan välillä. Hallien 1 ja 2 tapauksissa laastin vetolujuus ei täyttänyt annettua vaatimusta, sillä niiden vetolujuus oli alle 0,7 MPa kun taas 4-hallin tartuntalujuus oli yli 1,5 MPa. Ero voi johtua siitä, että 1- ja 2-hallin muottipinnoissa on käytetty muottiöljyä, ja 4-hallin muottipinnassa on käytetty emulsiota. Laastin tartuntalujuuden erot hallien välillä on esitetty kuvan 12 kaaviossa.



Kuva 12. Laastin tartunnan erot

Tasoitteiden tapauksessa ei ollut eroja eri hallien välillä. Kaikki tasoitteiden murrot tapahtuivat tasoitteiden sisäisesti, joten tartuntalujuuksien eroja eri esikäsittelyjen ja hallien välillä ei voida verrata keskenään. Kaikki tasoitteiden vetolujuuksien arvot kuitenkin täyttivät pintamateriaalin koheesiomurrolle asetetun ohjearvon 0,2 MPa, joten kaikkien esikäsittelypintojen voidaan katsoa olevan riittäviä tasoitteiden tartunta-alustaksi. Kuvan 13 kaaviossa on esitetty tasoitteiden tartuntalujuudet.



Kuva 13. Tasoitteiden tartunnan erot

5.5 Tulosten vertailu

Aikaisemmin betonipintojen esikäsittelyn vaikutusta pintamateriaalien tartuntaan on tutkittu muun muassa Vahanen Oy tekemässä tutkimuksessa (Betonisen seinäelementin pinnan esikäsittelyn vaikutus pintakäsittelyjen tartuntaan) 2010. Kyseisessä tutkimusselostuksessa tarkasteltiin julkisivu- ja sisäseinäelementtejä, jotka oli valmistanut Mikkelin Betoni Oy. Vahasen tutkimus käsitti useampia esikäsittelymenetelmiä ja lisäksi siinä tutkittiin myös vesiupotuksessa olleita sisäseinien koekappaleita. Tutkittavia pintamateriaaleja olivat tuolloin tasoitteet ja maalit.

Sisäseinien maalien tartunnassa eri tavalla esikäsiteltyihin alusbetonipintoihin ei ollut havaittavissa selkeää eroa Vahasen (2010) tutkimuksessa. Tässä tutkimuksessa muottipinnan ja timanttihionnan pinnan välillä oli selkeä ero. Ero tutkimusten välillä voi johtua käytettyjen betonilaatujen eroista, käytettyjen muottiöljyjen erilaisesta koostumuksesta ja käytetystä muottiöljyn määrästä sekä erilaisista koekappaleiden valmistusolosuhteista.

Molemmissa tutkimuksissa havaittiin, että julkisivumaalien tartunta oli huonompi telattuun pintaan kuin muihin tarkasteltuihin betonipintoihin. Muutenkaan julkisivujen maalien tartunnassa ei ollut havaittavissa eroja tutkimusten välillä, vaan tulokset olivat yhteneviä.

Tasoitteiden murrot tapahtuivat sisäisenä koheesiomurtona molemmissa tutkimuksissa. Tästä johtuen tuloksia ei voida verrata tutkimusten välillä. Vahasen (2010) tutkimuksen tasoitteiden vetolujuudet olivat kuitenkin suuremmat joissakin tapauksissa, mikä johtuu tasoitteiden suuremmasta sisäisestä lujuudesta.

Erot vetolujuuksien suuruudessa tutkimusten välillä voivat johtua osittain käytetystä kuormitusnopeudesta. Vahasen (2010) tutkimuksessa kuormitusnopeus oli 98 N/s ja tässä tutkimuksessa kuormitusnopeutena käytettiin 50 N/s. Kuormitusnopeus oli pienempi kuin standardissa SFS 5446 (1998), johtuen kandidaatintyön tekijän virheestä. Suurempi kuormitusnopeuden lisäys olisi lyhentänyt kuormitusaikaa, jolloin myös vetolujuuksien arvot voisivat olla hieman suurempia verrattuna pienempään kuormitusnopeuden lisäykseen.

5.6 Virhearvio

Vetolujuudet laskettiin kolmen koetuloksen aritmeettisena keskiarvona, jotta tuloksista saataisiin koestusolosuhteista ja betonipinnan laadun vaihtelusta johtuvaa hajontaa pois. Vetolujuuksiin on voinut negatiivisesti vaikuttaa liiman huono pitävyys, pintamateriaalin liian hidas kuivuminen ja käytetty kuormitusnopeuden lisäys..

Tuloksien laskennasta rajattiin pois koetulokset, joissa liima oli pettänyt yli 10 % alueelta. Tapauksia joissa liima petti alle 10 % alueelta esiintyi vetokokeissa suhteellisen vähän, joten niistä aiheutuva virhe ei ole suuri.

Pintamateriaalien annettiin kuivua niille asetettujen ohjearvojen mukaisesti, mutta koska olosuhdehuoneen lämpötila ja kosteus ei pysynyt halutuissa lukemissa koko kuivumisen ajan (ohjearvo 23°C, RH 50 % ellei toisin ilmoiteta), kuivuminen ei ole ollut täysin ihan-teellista. Maalien tapauksessa kuivumisaika piteni muutamalla päivällä ja vedeneristeen ja laastin tapauksessa muutamalla viikolla, joten kuivumisolosuhteista ei ole aiheutunut suurta virhettä.

Vetolujuuksien arvoon on voinut myös vaikuttaa negatiivisesti käytetty kuormitusnopeuden lisäys. Standardin SFS 5446 (1998) mukaan kuormitusta tulisi lisätä yhtäjaksoisesti ja tasaisesti nopeudella $0,005 \pm 0,01 \text{ MN}/(\text{m}^2\text{s})$ eli nopeudella 98 N/s pyöreän, 50 mm vetonapin tapauksessa. Tässä työssä käytettiin kuitenkin nopeutta 50 N/s. Pienemmän kuormitusnopeuden käyttö saattaa pienentää murtoa vastaavaa vetolujuuden arvoa, sillä pienempi nopeus pidentää kuormituksen kestoa. Kuormitukset olivat kuitenkin pääasiassa suhteellisen lyhytkestoisia, joten kuormituksen lisäyksestä aiheutuvan virheen ei pitäisi olla suuri.

6. YHTEENVETO

Vetokokeiden tuloksien perusteella voidaan sanoa, että suurin osa tutkituista pintamateriaali- ja esikäsitteily-yhdistelmistä täyttivät niille asetetut vetolujuuden vaatimukset. Kaikissa tapauksissa annettua ohjearvoa ei kuitenkaan saavutettu. Tällaisia tapauksia olivat toisen julkisivumaalin tartunta telapintaan, vedeneristeen tartunta 2-hallin muottipintaan ja laastin tartunta sisäseinien muottipintoihin.

Tulokset on saatu laboratoriossa kuivatuilla ja pinnoitetuilla betonikoekappaleilla, joten tulokset eivät sulje pois mahdollisuutta, että tartuntalujuudet työmaaoiloissa olisivat heikommat. Tutkimus ei ota kantaa tutkittujen pintamateriaali- ja betonipintayhdistelmien pitkäaikaiskestävyyteen. Tutkimuksen pohjalta voidaan kuitenkin vetää johtopäätös, että optimioloissa suurimman osan tutkituista pintamateriaali- ja betonipintayhdistelmistä tartuntalujuus on riittävä.

Tuloksia tarkastellessa tulee huomioida, ettei niistä voida vetää selviä johtopäätöksiä tarkasteltaessa muissa elementtitehtaissa valmistettuja betonielementtejä ja niiden betonipintoja. Tulokset ovat muissa tapauksissa enemmänkin suuntaa antavia johtuen eroista käytettyjen betonilaatujen, tiivistysmenetelmien ja muottijärjestelmien välillä.

Jatkossa olisi hyödyllistä tutkia, miten muottiöljyn määrä vaikuttaa laastien ja vedeneristeiden tartuntalujuuteen. Lisäksi voitaisiin muun muassa tutkia miten betonin liiallinen tiivistäminen ja sitä kautta erottuminen vaikuttaa pintamateriaalien tartuntaominaisuuksiin.

LÄHTEET

Kovettuneen betonipinnan käsittelyt. Betonteollisuus ry. Verkkosivu saatavissa (viitattu 11.11.2017): <http://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/betonipinnat/kovettuneen-betonipinnan-kasittelyt/>

Bikales, N.M. (1971). Adhesion and ponding. Encyclopedia Reprints.

Cohesion. (2009). Britannica Academic. Verkkosivu saatavissa (viitattu 26.5.2018): <https://academic-eb-com.libproxy.tut.fi/levels/collegiate/article/cohesion/24673>

Pike, R.A. (2015). Adhesive. Britannica Academic. Verkkosivu saatavissa (viitattu 26.5.2018): <https://academic-eb-com.libproxy.tut.fi/levels/collegiate/article/adhesive/108309>

BY 47 (2000). Betonirakentamisen laatuohjeet. Suomen Betoniyhdistys ry.

BY 201 (2004). Betonirakentamisen laatuohjeet. Suomen Betoniyhdistys ry.

SFS 5446 (1998) Betoni. Tartuntalujuus. Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS 4624 (2016). Maalit ja lakat. Tarttuvuuden arviointi vetokokeella. Suomen standardisoimisliitto SFS.

Vahanan Oy (2010). Betonisen seinäelementin pinnan esikäsittelyn vaikutus pintakäsittelyjen tartuntaan. Tutkimusselostus.

LIITE A: ESIKÄSITTELYPINNAT

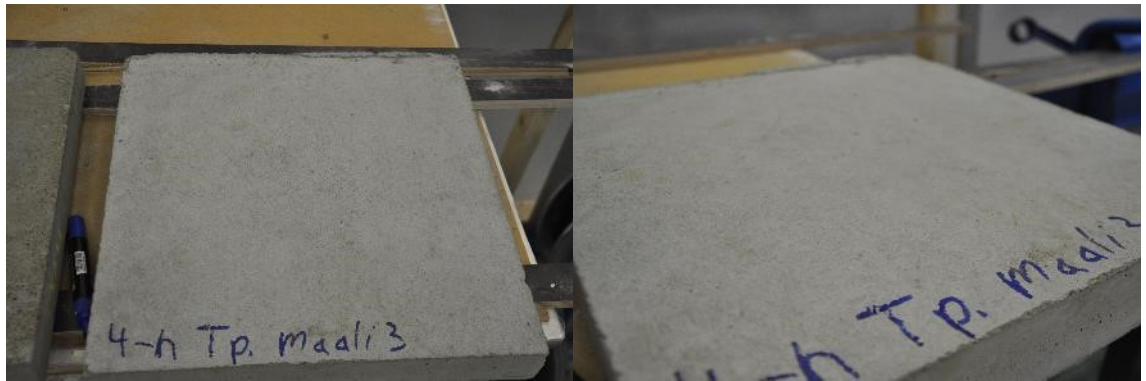
4-hallin esikäsittelypinnat



Kuva 1. 4-hallin muottipinta



Kuva 2. 4-hallin hierretty pinta



Kuva 3. 4-hallin telapinta

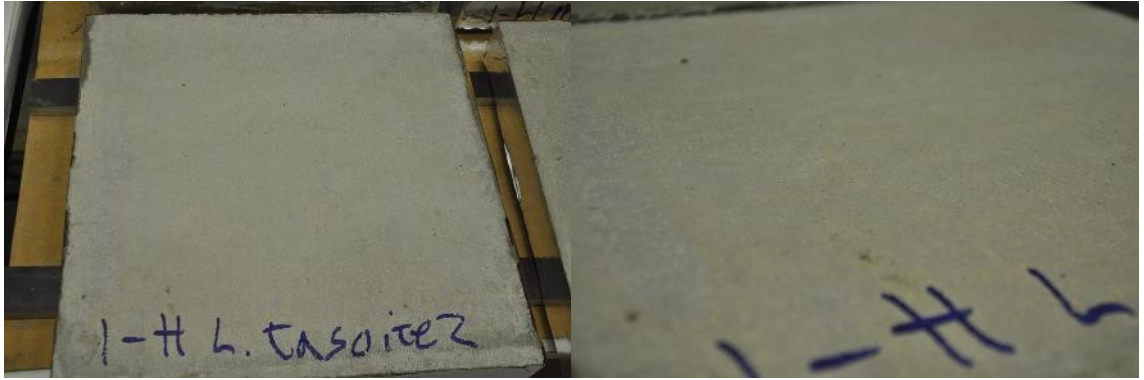


Kuva 4. 4-hallin maalauslupinta

1-hallin esikäsittelypinnat



Kuva 5. 1-hallin muottipinta

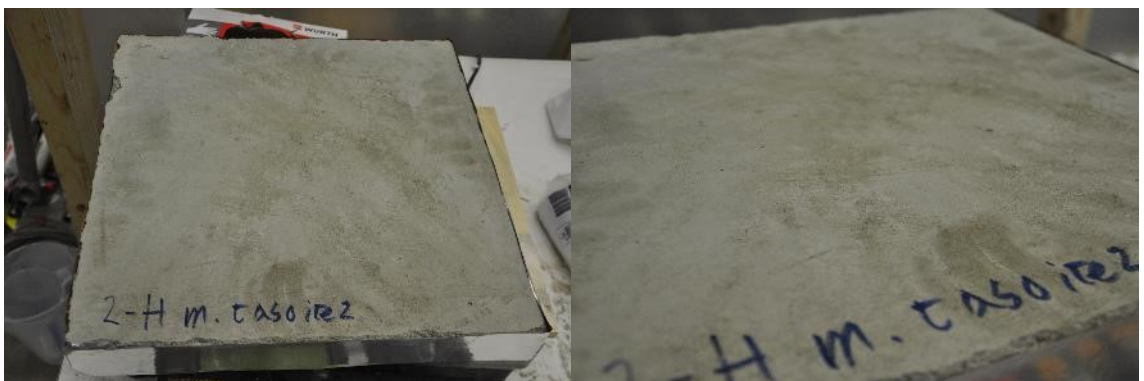


Kuva 6. 1-hallin hierretty pinta



Kuva 7. 1-hallin timanttihiottu pinta

2-hallin esikäsittelypinnat



Kuva 8. 2-hallin muottipinta



Kuva 9. 2-hallin hierretty pinta



Kuva 10. 2-hallin timanttihiottu pinta

LIITE B: MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Maali	3	4-halli muottipinta		Maali	4	4-halli muottipinta	
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 6.0	0,3	D	100x100	Veto 13.0	1,7	D	100x100
Veto 6.1	0,5	D	100x100	Veto 13.1	2,0	-	100x100
Veto 6.2	0,2	D	100x100	Veto 13.2	-	-	100x100
Veto 6.3	0,9	B	pyöreä	Veto 13.3	3,2	A	pyöreä
Veto 6.4	1,6	B	pyöreä	Veto 13.4	3,2	A	pyöreä
Veto 6.5	1,3	B	pyöreä	Veto 13.5	3,0	A	pyöreä
Maali	3	4-halli maalausala		Maali	4	4-halli maalausala	
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 9.0	1,0	D	100x100	Veto 11.0	1,3	D	100x100
Veto 9.1	0,3	D	100x100	Veto 11.1	2,0	-	100x100
Veto 9.2	0,4	D	100x100	Veto 11.2	1,1	D	100x100
Veto 9.3	3,0	A	pyöreä	Veto 11.4	1,5	D	pyöreä
Veto 9.4	0,9	D	pyöreä	Veto 11.5	1,4	D	pyöreä
Veto 9.5	1,9	D	pyöreä	Veto 11.6	2,8	A	pyöreä
Veto 9.6	2,4	A	pyöreä	Veto 11.7	1,0	D	pyöreä
Veto 9.7	3,4	A/B	pyöreä	Veto 11.8	2,5	A	pyöreä
				Veto 11.9	3,3	A	pyöreä
Maali	3	4-halli telapinta		Maali	4	4-halli tela	
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 10.0	0,1	D	100x100	Veto 12.0	0,4	D	100x100
Veto 10.1	0,3	D	100x100	Veto 12.1	0,4	D	100x100
Veto 10.2	0,3	D	100x100	Veto 12.2	0,5	D	100x100
Veto 10.3	0,6	B	pyöreä	Veto 12.3	1,6	B	pyöreä
Veto 10.4	0,5	B	pyöreä	Veto 12.4	1,8	B	pyöreä
Veto 10.5	0,5	B	pyöreä	Veto 12.5	1,4	B	pyöreä
Vedeneriste		4-halli muottipinta		Veto 12.6	-	D	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 12.7	1,5	B	pyöreä
Veto 15.0	2,1	B	pyöreä	Veto 12.8	1,3	B	pyöreä
Veto 15.1	2,5	A/B	pyöreä	Tasoite 1		4-halli muottipinta	
Veto 15.2	2,2	B	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Vedeneriste		4-halli teräshierto		Veto 26.0	0,2	C	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 26.1	0,2	C	pyöreä
Veto 16.0	1,4	B	pyöreä	Veto 26.2	0,2	C	pyöreä
Veto 16.1	1,6	B	pyöreä	Tasoite 1		4-halli teräshierto	
Veto 16.2	1,2	B	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Laasti		4-halli muottipinta		Veto 24.0	0,2	C	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 24.1	0,3	C	pyöreä
Veto 36.0	1,4	B/C	pyöreä	Veto 24.2	0,2	C	pyöreä
Veto 36.1	1,2	D	pyöreä	Veto 24.3	0,7	C	pyöreä
Veto 36.2	1,3	B/C	pyöreä	Tasoite 2		4-halli muottipinta	
Veto 36.3	1,8	B	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 36.4	1,6	B/C	pyöreä	Veto 43.0	0,5	C	pyöreä
Veto 36.5	1,8	B/C	pyöreä	Veto 43.1	0,4	C	pyöreä
				Veto 43.2	0,4	C	pyöreä
Laasti		4-halli teräshierto		Tasoite 2		4-halli teräshierto	
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 46.0	1,4	betoni	pyöreä	Veto 42.0	0,7	C	pyöreä
Veto 46.1	1,5	betoni	pyöreä	Veto 42.1	0,7	C	pyöreä
Veto 46.2	1,4	betoni	pyöreä	Veto 42.2	0,6	C	pyöreä

Kuva 1. 4-hallin vetolujuudet

Maali	1	1-Halli timanttihionta		Maali	2	1-Halli timanttihionta	
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 1.0	0,9	B	100x100	Veto 14.0	2,1	B	pyöreä
Veto 1.1	0,6	D	100x100	Veto 14.1	1,0	D	pyöreä
Veto 1.2	0,6	B	100x100	Veto 14.2	1,4	B	pyöreä
Veto 1.3	1,3	B	100x100	Veto 14.3	2,7	B	pyöreä
Veto 1.6	0,8	D	pyöreä	Maali 2 1-Halli muottipinta			
Veto 1.7	0,7	D	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murtotapa	Teräshierto
Veto 1.8	0,5	D	pyöreä	Veto 7.0	0,4	D	100x100
Veto 1.9	1,4	B	pyöreä	Veto 7.1	0,3	D	100x100
Veto 1.10	0,1	D	pyöreä	Veto 7.2	0,7	B	100x100
Veto 1.11	1,3	B	pyöreä	Veto 7.3	1,6	B	pyöreä
Veto 1.12	2,4	C	pyöreä	Veto 7.4	1,4	B	pyöreä
Veto 1.13	-	D	pyöreä	Veto 7.5	1,3	B	pyöreä
Maali	1	1-Halli muottipinta		Tasoite	1	1-halli muottipinta	
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 2.0	1,1	B	100x100	Veto 25.0	0,3	C	pyöreä
Veto 2.1	0,9	B	100x100	Veto 25.1	0,2	C	pyöreä
Veto 2.2	1,1	B	100x100	Veto 25.2	0,2	C	pyöreä
Veto 2.3	1,1	B/C	pyöreä	Tasoite 1 1-halli timanttihionta			
Veto 2.4	1,4	B/C	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 2.5	0,8	B/C	pyöreä	Veto 27.0	0,2	C	pyöreä
Vedeneriste 1-halli Timanttihionta				Veto 27.1	0,2	C	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 27.2	0,2	C	pyöreä
Veto 17.0	1,8	D	pyöreä	Tasoite 1 1-halli teräshierto			
Veto 17.1	1,8	D	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 17.2	2,0	D	pyöreä	Veto 28.0	0,4	C	pyöreä
Veto 17.3	0,7	D	pyöreä	Veto 28.1	0,4	C	pyöreä
Veto 17.4	2,5	B	pyöreä	Veto 28.2	0,3	C	pyöreä
Veto 17.5	2,0	B	pyöreä	Tasoite 2 1-halli muottipinta			
Veto 17.6	2,2	A	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Vedeneriste 1-halli liipattu				Veto 40.0	0,4	C	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 40.1	0,4	C	pyöreä
Veto 18.0	1,4	A/B	pyöreä	Veto 40.2	0,3	C	pyöreä
Veto 18.1	1,9	A/B	pyöreä	Tasoite 2 1-halli timanttihionta			
Veto 18.2	1,5	B	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Vedeneriste 1-halli muottipinta				Veto 39.0	0,7	C	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 39.1	0,6	C	pyöreä
Veto 22.0	1,1	B	pyöreä	Veto 39.2	0,7	C	pyöreä
Veto 22.1	0,8	B	pyöreä	Tasoite 2 1-halli teräshierto			
Veto 22.2	0,6	B	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Laasti 1-halli muottipinta				Veto 45.0	0,5	C	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 45.1	0,7	C	pyöreä
Veto 38.0	0,7	B	pyöreä	Veto 45.2	0,7	C	pyöreä
Veto 38.1	0,4	B	pyöreä	Laasti 1-halli teräshierto			
Veto 38.2	0,9	B	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 38.3	1,5	E	pyöreä	Veto 37.0	1,0	D	Pyöreä
Laasti 1-halli timanttihionta				Veto 37.1	1,6	D	Pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 37.2	1,3	B	Pyöreä
Veto 35.0	0,4	D	pyöreä	Veto 37.3	1,5	B	Pyöreä
Veto 35.1	1,0	D	pyöreä	Veto 37.4	1,9	B	Pyöreä
Veto 35.2	1,4	D	pyöreä				
Veto 35.3	1,4	C	pyöreä				
Veto 35.4	1,6	C	pyöreä				
Veto 35.5	1,9	C	pyöreä				

Kuva 2. 1-hallin vetolujuudet

Maali	1	2-Halli timanttihionta		Maali	2	2-Halli timanttihionta	
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 4.0	1,5	A/B	100x100	Veto 8.0	0,2	D	100x100
Veto 4.1	1,4	A/B	100x100	Veto 8.1	0,2	D	100x100
Veto 4.2	1,6	A/B	100x100	Veto 8.2	0,4	D	100x100
Veto 4.3	1,9	A/B	pyöreä	Veto 8.3	0,1	D	pyöreä
Veto 4.4	2,3	A/B	pyöreä	Veto 8.4	1,0	B	pyöreä
Veto 4.5	3,1	A/B	pyöreä	Veto 8.5	1,9	B	pyöreä
Maali	1	2-Halli muottipinta		Veto 8.6	1,0	D	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murtotapa	Vetonappi	Veto 8.7	2,3	A	pyöreä
Veto 3.0	1,1	A/B	100x100	Maali	2	2-Halli muottipinta	
Veto 3.1	0,9	A/B	100x100	Tunnus	Vetolujuus	Murtotapa	Vetonappi
Veto 3.2	1,1	A/B	100x100	Veto 5.0	0,0	D	100x100
Veto 3.3	0,8	A/B	pyöreä	Veto 5.1	0,2	D	100x100
Veto 3.4	1,3	A/B	pyöreä	Veto 5.2	0,2	D	100x100
Veto 3.5	0,7	A/B	pyöreä	Veto 5.3	0,4	D	100x100
Vedeneriste		2-halli muottipinta		Veto 5.4	0,5	B	100x100
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 5.5	0,6	D	100x100
Veto 19.0	0,7	B	pyöreä	Veto 5.6	0,8	B	pyöreä
Veto 19.1	0,7	B	pyöreä	Veto 5.7	0,9	A/B	pyöreä
Veto 19.2	0,6	B	pyöreä	Veto 5.8	0,7	B	pyöreä
Vedeneriste		2-halli muottipinta		Veto 5.9	0,8	B	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Tasoite	1	2-halli muottipinta	
Veto 19.0	0,7	B	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 19.1	0,7	B	pyöreä	Veto 30.0	0,3	C	pyöreä
Veto 19.2	0,6	B	pyöreä	Veto 30.1	0,3	C	pyöreä
Vedeneriste		2-halli timanttihionta		Veto 30.2	0,2	C	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Tasoite	1	2-halli timanttihionta	
Veto 20.0	2,1	A	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 20.1	1,9	D	pyöreä	Veto 29.0	0,2	C	pyöreä
Veto 20.2	2,5	D	pyöreä	Veto 29.1	0,2	C	pyöreä
Veto 20.3	2,5	B	pyöreä	Veto 29.2	0,2	C	pyöreä
Veto 20.4	2,4	B	pyöreä	Veto 29.3	0,8	C	pyöreä
Vedeneriste		2-halli teräshierto		Veto 29.4	0,5	C	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 29.5	1,7	C	pyöreä
Veto 21.0	0,7	B	pyöreä	Tasoite	1	2-halli teräshierto	
Veto 21.1	1,1	B	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 21.2	0,9	B	pyöreä	Veto 23.0	0,27	C	pyöreä
Laasti		2-halli muottipinta		Veto 23.1	0,23	C	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 23.2	0,26	C	pyöreä
Veto 32.0	0,7	B	pyöreä	Tasoite	2	2-halli muottipinta	
Veto 32.1	0,3	B	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 32.2	0,2	B	pyöreä	Veto 44.0	0,3	C	pyöreä
Laasti		2-halli timanttihionta		Veto 44.1	0,3	C	pyöreä
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Veto 44.2	0,2	C	pyöreä
Veto 33.0	1,3	D	pyöreä	Tasoite	2	2-halli timanttihionta	
Veto 33.1	1,3	D	pyöreä	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi
Veto 33.2	1,1	D	pyöreä	Veto 31.0	0,7	C	pyöreä
Veto 33.3	1,8	C	pyöreä	Veto 31.1	0,6	C	pyöreä
Veto 33.4	1,7	C	pyöreä	Veto 31.2	0,6	C	pyöreä
Veto 33.5	1,3	C	pyöreä				
Laasti		2-halli liipattu		Tasoite	2	2-halli teräshierto	
Tunnus	Vetolujuus	Murto	Vetonappi	Tunnus	Vetolujuus	Murto	Lätkä
Veto 34.0	0,7	D	pyöreä	Veto 41.0	0,5	C	pyöreä
Veto 34.1	1,3	C	pyöreä	Veto 41.0	0,4	C	pyöreä
Veto 34.2	0,9	C	pyöreä	Veto 41.2	0,3	C	pyöreä
Veto 34.3	1,5	B	pyöreä				
Veto 34.4	1,8	B	pyöreä				
Veto 34.5	1,5	B	pyöreä				

Kuva 3. 2-hallin vetolujuudet